

Review Article

뇌동맥류 결찰술의 수술 과정

김용배*

연세대학교 의과대학 세브란스병원 뇌졸중센터 신경외과

Surgical process of cerebral aneurysm clipping

Yong Bae Kim*

Department of Neurosurgery, Severance Hospital Stroke Center, Yonsei University College of Medicine, Seoul, Korea

ABSTRACT

Microsurgical clipping has been a gold standard for treatment of cerebral aneurysms. However, despite the far advances in surgical technique and craft, it may carry considerable risk of mortality and morbidity to the patient unless the surgeon keeps the basic principles and tactics for proper process of aneurysm clipping. To attain the goal of complete isolation of aneurysm from the cerebral circulation with concurrent saving parent artery and critical perforators, safe exposure of aneurysm, proper clip selection and accurate placement of the clip under the various intraoperative monitoring should be necessary. From exposure of target aneurysm to the final clip application, the authors will describe notable considerations for the successful clipping of aneurysm based on their own experience and review of literature.

Keywords: clipping; intracranial aneurysm; intraoperative neurophysiological monitoring; principle

서론

뇌동맥류의 수술적 결찰술은 뇌혈관내 코일색전술(endovascular coil embolization)과 더불어 뇌동맥류 파열에 의한 치명적 뇌지주막하 출혈을 방지하려는 주요 치료법 중의 하나이다. 이는 직접 개두술을 통하여 뇌동맥류를 노출한 뒤 외과용 미세 클립(clip)을 뇌동맥류의 경부에 거치시켜 혈류를 차단하는 방법으로서, 수술과정에서의 마취, 현미경을 비롯한 기구, 신경생리학적 검사를 통한 수술 중 감시기법 등 많은 분야의 발전에 힘입어 현재 뇌동맥류 수술의 성적은 과거 어느 때보다 안전하고 성공률이 높은 수준으로 향상되었다. 그러나 한편 여전히 성공적인 뇌동맥류 결찰술을 위해서는 수술 시작 전부터 마칠 때까지 전 과정에 걸친 치밀한 준비와 고난도의 수술술기, 각 전문가와의 협력과 원활한 의사소통 등 다 방면에 걸친 노력과 집중력이 요구된다고 해도 과언이 아닐 것이다.

뇌동맥류의 이상적인 치료는 결국 뇌동맥류를 뇌혈관순환계에서 완전히 격리시키는 동시에 모동맥과 천공동맥, 주위조직의 손상을 피하는 데 있다. 이러한 목적을 달성하기 위해 수

술의 단계를 진행하는데 있어서 특히 뇌동맥류의 노출, 적절한 클립의 선택, 최종 클립의 결찰을 마치는 과정은 뇌동맥류 수술의 성공과 실패를 가름 짓는 가장 핵심적인 과정이라고 할 수 있다. 저자들은 이러한 과정에서 중요하게 고려해야 할 사항들과 수술의 기본원칙으로 제시할 만한 사항들을 기술하여 뇌동맥류 결찰술의 수술과정을 추체험하는데 도움이 되고자 한다.

본론

1. 마취

뇌동맥류 결찰술은 동맥류의 파열과 그에 따른 합병증을 예방하면서 환자는 안전하게 보호되는 것이 목적이다. 중추신경계 혈관을 다루는 수술의 특성상 그 과정이 매우 민감할 수밖에 없고, 특히 이미 파열이 일어나서 뇌지주막하 출혈이 있는 경우에는 이러한 목적을 달성하기 위한 수술 중의 생리학적 혹은 혈액학적 관용도가 더욱 좁아지게 된다. 이러한 민감한 상황을 감시하기 위해 일반적인 수술 동안에는 잘 사용하지 않는

Received December 29, 2019; Revised January 26, 2020; Accepted February 13, 2020

*Corresponding author: Yong Bae Kim, Department of Neurosurgery, Severance Hospital Stroke Center, Yonsei University College of Medicine, 50-1 Yonsei-ro, Sedaemun-gu, Seoul 03722, Korea

Tel: +82-2-2228-2167, Fax: +82-2-393-9979, E-mail: Ybkim69@yuhs.ac

© 2020 Korean Society of Intraoperative Neurophysiological monitoring (KSION)

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

중추신경계의 전기생리학적 혹은 혈액학적 감시장치들을 추가로 사용해야 하는 경우가 빈번하기 때문에 마취도 그에 따라 적당한 수단과 방법을 선택하여야만 한다. 기본적으로 뇌동맥류 결찰술 동안의 마취는 적절한 뇌관류압을 유지하고, 뇌압의 변동과 뇌부종을 회피하며, 뇌조직 건인이 최소화 될 수 있는 환경을 제공하면서, 수술 후 각성이 예측 가능하며 신속할 수 있도록 도모하여야 한다. 더불어, 각종 수술 중 감시장치가 제대로 이루어질 수 있도록 사용 약제, 마취의 유지와 깊이, 체온, 혈압의 관리, 뇌 보호를 위한 방법 등을 함께 고려해야 한다.

2. 체위

뇌동맥류 결찰술 대부분은 앙와위(supine position)나 측와위(lateral position) 두 가지 자세에서 시행된다. 환자의 두부는 두개골 고정기구(skull fixator)로 고정되며, 수술침대는 상하 좌우 앞뒤 기울기 등 모든 방향에서 전동으로 조절이 가능하다. 마취 및 수술중 감시장치와 각종 모니터를 위해 접근이 용이한 배치와 배열이 필수적이고, 미세현미경이나 수술중 방사선검사기기의 출입에 제한이 없는 자세여야 한다. 장시간 수술이 흔하기 때문에 해부학적으로 지속적인 압박을 받거나 견인되는 부위가 없는지 면밀히 검토하여야 수술 후 예상치 못한 말초신경 마비나 혈행순환 장애로 인한 압박육창을 피할 수 있다. 수술 접근을 위해 환자의 목을 과도하게 들거나 돌리지 않도록 해서 기도의 압박이나 정맥순환을 방해하는 일이 없도록 신경 써야 한다. 뇌동맥류 결찰술은 처음 마취부터 본 수술에 이르기까지 동원되는 장치나 기구들이 많아서 각종 선들과 장비들이 얽히게 되는 경우가 많다. 매우 사소한 부분까지 세밀하게 점검하고 확인하지 않으면 수술 중 기구나 장비의 오작동으로 인해 예상치 못한 난관에 부딪치기 쉬우므로 특히 수술체위 고정을 마치고 수술중 신경감시를 위한 전극을 모두 설치한 후 수술용 포로 환자를 덮기 전에 다시 한번 전체적으로 조망하고 확인하는 것이 좋다.

3. 경막외 단계(extradural stage)

두피를 절개하고 양극 혹은 단극 지혈기로 차분히 지혈하면서 두피피판(scalp flap)을 만든다. 두개골이 노출되면 전동기구로 두개구멍(burr hole)을 몇 개 만들고, 개두기(craniotome)을 이용하여 두개구멍을 연결하여 두개골피판(skull flap)을 만들어 떼어낸다. 가장 흔한 전방순환계(anterior circulation) 뇌동맥류의 경우 대부분 테리온 접근법(pterional approach)을 택하게 되는데, 이 경우 두개골피판은 전두, 측두, 두정 및 접형골을 모두 포함하게 된다. 테리온 접근법을 위한 두피 절개 시에는 안면신경과 표재성 측두동맥의 손상을 피해야 하고, 측두근의 손상을 최소화 하는데 유의해야 미용적 문제를 피할 수 있다. 두개골피판을 제거한 뒤 남아있는 접형

골의 날개부위를 전동 드릴로 제거하여 시야를 가리는 턱을 없애야 경막을 열었을 때 전측두 방향을 통해 실비우스열(Sylvian fissure)을 수술 시야에 확보할 수 있게 된다.

4. 경막내 단계(intradural stage)

경막을 열고 수술용 미세 현미경이 들어오면서 대개 본격적인 수술과정이 시작되는데, 이때부터 신경계 구조물과 혈관들이 직접 수술 시야에 노출되게 된다. 스프링 코일로 만들어진 뇌동맥류 클립(aneurysm clip)을 뇌동맥류 경부에 거치시키기 위해 뇌동맥류의 경부를 노출시키는 과정은 뇌동맥류 결찰술의 성패를 좌우하는 중요한 과정이다. 뿐만 아니라 파열 뇌동맥류를 수술하는 경우 이 과정 중에 대개 동맥류의 조기 파열이 일어나기 때문에 특별한 주의가 필요한 단계이기도 하다. 뇌동맥류가 결찰되기 용이하도록 동맥류 내부의 압력을 떨어뜨리기 위해, 그리고 혹시 있을지 모를 조기파열이나 그에 준하는 대량 출혈에 대비하기 위해 일시결찰(temporary clipping) 할 수 있는 뇌동맥류 근위부의 모동맥을 확보(proximal control)하는 것이 뇌동맥류 수술의 가장 기본적인 원칙이다[1-4]. 모동맥의 주행을 따라 뇌동맥류를 찾아가는 과정이 뇌동맥류가 발생하였다고 예상되는 위치보다 근위부의 모동맥에서부터 노출이 시작되어야 조기파열이 발생하더라도 혈류를 효과적으로 제어할 수 있게 된다. 경우에 따라서는 이러한 근위부 모동맥의 확보가 어려울 수 있는데, 상상돌기 주위 뇌동맥류 결찰술 시에는 상상돌기를 제거하거나, 목에서 내경동맥을 차단할 준비가 되어 있어야 할 것이며, 전교통동맥 수술 시에는 양측의 전대뇌동맥이 반드시 확보되어야 하나, 뇌동맥류의 모양이나 크기, 자라난 방향에 따라서는 반대측 전대뇌동맥의 노출이 어려울 때도 있다[1,2]. 뇌동맥류 원위부 모동맥의 확보도 중요한데, 이는 뇌동맥류의 조기파열시 일시결찰에 의한 근위부 확보가 완전하다 하더라도 원위부에서 역으로 계속 출혈하는 것을 방지하기 위해 혈류를 완전 차단할 필요가 있을 때를 대비해서이다[1-4]. 수술 중 뇌동맥류의 조기파열은 정상적인 수술의 진행을 어렵게 만들 뿐 아니라, 결과적으로 환자 안전을 해치며, 불완전한 뇌동맥류 결찰을 야기할 수 있어 반드시 피해야 할 사항이므로 이를 위한 준비는 아무리 철저해도 지나침이 없다고 할 만하다. 일단 근위부 모동맥이 확보되면 조심스럽게 뇌동맥류 경부를 찾아서 노출시켜야 한다. 동맥류의 경부는 주위 신경조직이나 혈관들과 유착되어 있는 부분을 조심스레 박리하여 클립이 들어갈 수 있는 최소한의 틈을 확보해 내야만 한다. 동맥류의 경부를 노출시키는 과정에서 근위부 모동맥의 일시적 결찰이 반드시 필요한 것은 아니지만, 전술한 바와 같이 경부가 천공동맥이나 주위 조직과 유착이 심해 박리가 어려운 경우나 동맥류를 다루는데 있어서 조기파열의 위험성이 높다고 판단되는 경우, 혹은 동맥류의 모양이나 크기가

복잡하여 동맥류 내부의 압력을 떨어뜨릴 필요가 있는 경우, 일시결찰을 이용할 수 있다. 일시결찰을 하기 직전에 마취과와 긴밀히 의사소통을 하여 환자의 혈액학적 상태를 안정시키고 뇌보호를 위한 추가조치를 시행할 수 있다. 대개 수축기 혈압을 140 mmHg 이상으로 높이고, 10분 이상 혈류차단이 예상되거나 뇌동맥 연축이 있는 환자에게는 sodium pentobarbital을 정맥 내로 주입하고, 체온을 섭씨 34도까지 떨어뜨려 뇌 보호를 꾀하는 것도 유용하다. 일시결찰의 사용으로 조기파열의 위험성이 줄어들고, 특히 동맥류내압이 떨어지면 경부를 주위 조직으로부터 박리하는 과정이 훨씬 쉬워질 수 있다[3,4].

뇌동맥류 경부가 노출되어 있고 적절한 클립을 선택했다면 조심스럽게 노출된 경부에 삽입한다. 클립의 날(blade)은 동맥류 경부와 모동맥 사이에 약간의 여유를 가진 상태에서 닫혀야 경부가 결찰되면서 모동맥의 내경이 함께 좁아지는 것을 줄일

수 있고, 동맥류 내부의 혈전이 모동맥으로 유입되는 것을 차단할 수 있다[5]. 클립이 거치된 후에는 결찰된 상태의 동맥류 경부를 앞뒤좌우로 돌려보아 클립의 날(blade)이 동맥류 경부를 완전히 결찰하였는지, 특히 분지나 천공동맥이 안전한지를 확인해야 한다(Fig. 1).

5. 뇌동맥류 결찰 수술중 감시기법(intraoperative monitoring methods during aneurysm clipping)

뇌동맥류 클립을 거치한 후 원위부 모동맥과 주요 분지의 혈행은 미세혈관도플러 초음파(microvascular Doppler ultrasonography)를 사용해서 알 수 있다. 탐식자(probe)를 관심 혈관에 수직으로 접촉하여 혈관 내 혈류의 정성적, 정량적 속도를 측정함으로써 혈관의 협착 정도와 폐색 여부를 감지하게 된다. 컬러 그래프로 시각적인 확인뿐 아니라, 혈류의 흐름을 소리로도 탐지할 수 있기 때문에 수술자는 직관적으로 관

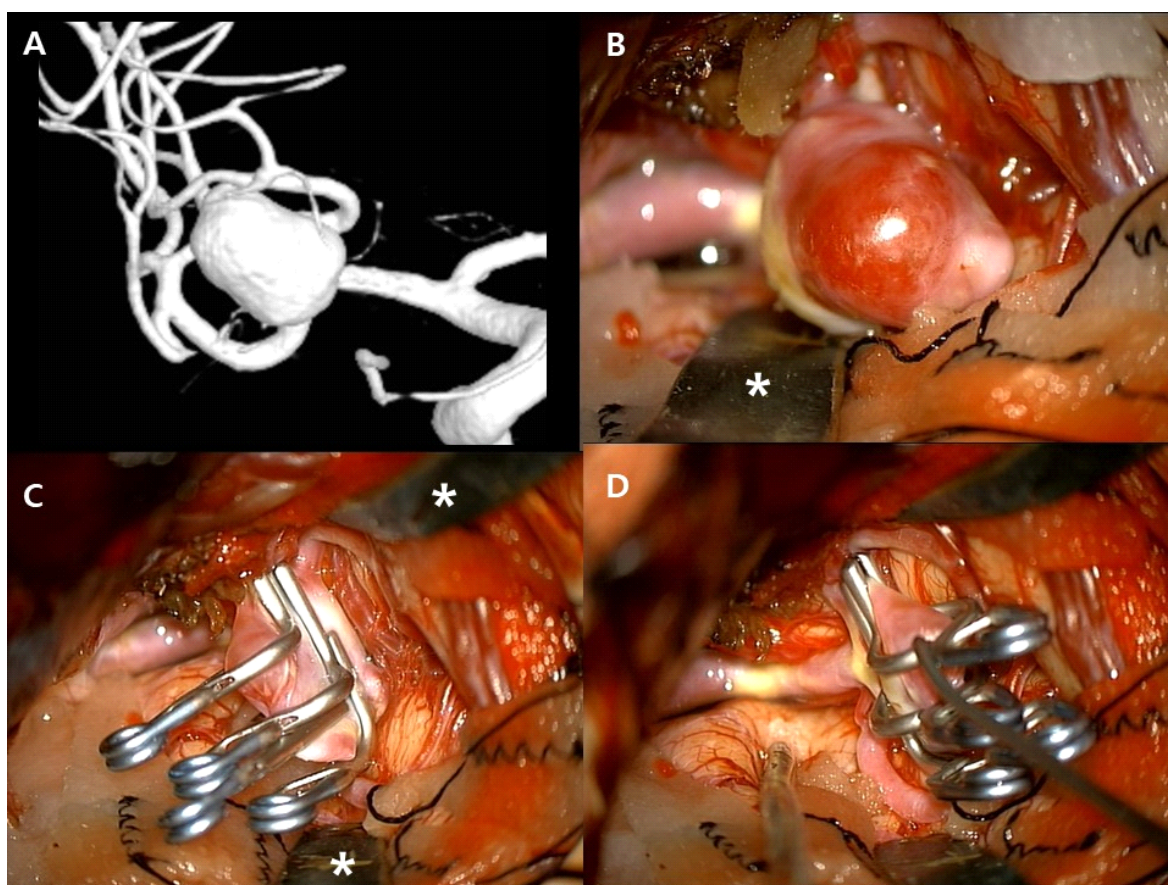


Fig. 1. A case example of unruptured, large sized, middle cerebral artery aneurysm. A catheter 3-dimensional rotational angiography revealed 17mm sized aneurysm arisen at right middle cerebral artery bifurcation (A). The surgical clipping was performed via right trans sylvian approach with fronto-temporal craniotomy. Intraoperative photos after circumferential dissection of the target aneurysm before clipping (B), and after deployment of multiple clips (C, D). Both frontal and temporal lobe were widely separated by self-retaining retractors (asterisks). It was mandatory to put the temporary clip on proximal M1 trunk for softening the aneurysm sac. Finally, the aneurysm was completely secured, and confirmed that the main parent arteries and perforators were patent.

심혈관의 혈류상태를 클립 결찰 전후로 비교해 볼 수 있다. 만약 혈류가 감소되어 있거나 막혀 있으면 즉시 클립을 풀고, 위치를 재조정하게 된다. 뇌동맥류 자체에 탐식자를 갖다 대어 만약 조금이라도 혈류가 통한다면 불완전 결찰임을 암시하므로 이 역시 클립 재조정의 단서로 삼을 수 있다. 문헌에 따르면 수술 중 육안으로 확인되지 않았던 모동맥의 협착을 미세혈관 도플러를 이용하여 발견하게 된 경우가 약 10%에서 있었고, 위치나 뇌동맥류 결찰술의 난이도에 따라 많게는 30%까지도 보고되고 있다[6,7].

뇌동맥류 결찰술 시 경부가 남거나 불완전 결찰 여부의 확인, 모동맥 협착, 분지 혈관이나 관통 동맥 폐색 등의 가장 확실한 평가는 수술 중 혈관 촬영을 통해 획득할 수 있다. 그러나 수술 도중 환자의 혈관을 직접 천자하여 카테터를 삽입, 관심 혈관에 직접 조영제를 주입하고, 영상장치를 이용하여 영상을 획득하는 방법은 침습적일 뿐 아니라, 수술실에 혈관조영술을 시행할 수 있는 인력과 영상장치가 따로 구비되어 있어야 하는 제한점 때문에 그 필요성에도 불구하고 거의 시행되지 못하고 있었다. 그러나 인도시아닌 그린 비디오혈관조영술(indocyanine green videoangiography)은 이러한 과정 없이 약물의 정맥주사만으로 혈관을 형광 조영할 수 있어 비침습적 방법이며, 신경외과 수술에 필수 장비인 미세현미경에 간단한 광학 필터만 장착하면 수술 중 모니터로 혈관조영되는 장면을 실시간으로 감시하고 녹화할 수 있어, 기존의 복잡하고 침습적인 수술 중 뇌혈관조영술을 대체할 수 있는 새로운 유형의 수술 중 혈관 감시기법이다(Fig. 2). 적외선 필터가 장착된 미세현미경 하에서 인도시아닌 시약 25 mg을 환자의 정맥내 주입하면 약 20-25초 후부터 동맥기, 모세혈관기, 이어서 정맥기 혈관이 현미경 모니터에 조영된다. 만약, 결찰을 마친 뇌동맥류 안에 지연된 인도시아닌 시약의 충만이 발견되면 불완전 결찰을 암시하는 것이므로 재결찰이나 추가결찰을 시행하여야 한다. 사용의 편리성, 신속성, 비침습성뿐만 아니라, 기존 전통적인 혈관조영술과 비교하여 뇌동맥류의 불완전 결찰이나 모동맥의 협착을 예측하거나, 수술 후 신경학적 결손률 등에 있어

서 큰 차이가 없어 인도시아닌 그린 비디오혈관조영술은 매우 효과적인 대안으로 각광받고 있다[8].

광학기술의 발전함에 따라 고해상도 영상을 얻을 수 있는 내시경의 소형화로 인해 뇌동맥류 수술에서도 수술중 내시경의 도움이 효과적인 경우가 많다. 위에서 내려다 보는 미세현미경의 시야에서 잘 보이지 않는 사각지대를 시각화 할 수 있고, 충분한 광원을 사용하여 근접 영상을 얻을 수 있어 매우 자세한 해부학적 구조를 탐색 가능하게 하기 때문에, 특히 관통동맥이 뇌동맥류 클립에 함께 물려 있는지 등을 평가하는데 매우 유용하다. 내시경의 영상을 미세현미경 접안렌즈 시야 안에서 다중영상(picture in picture) 형태로 구현할 수도 있다. 주로, 결찰술을 하기 전 내시경으로 동맥류 주변의 해부학적 구조물과 장애물 등을 충분히 탐색하여 클립을 거치시킬 사전 모의를 해 본 뒤, 직접 내시경 감시하에 클립을 거치시키거나 혹은 클립을 거치한 후 다시 내시경을 이용하여 적절하게 클립이 거치되었는지 확인해 볼 수 있다(Fig. 3). 문헌에 따르면 수술 중 미세현미경을 이용한 탐색에서는 발견할 수 없었던 정보를 내시경을 통해서만 알 수 있었던 경우가 16.7%에 달했고, 특히 이중 9.3%에서는 클립의 재조정이 필요하였다고 하므로 안전하고 효과적인 수술을 위해서 매우 결정적인 정보를 획득할 수 있는 감시장치라 할 수 있겠다. 더불어 최근 들어 고화질의 3차원 영상을 구현한 내시경이 등장하는 등 장비의 발전속도가 매우 빨라 뇌동맥류 수술에서의 내시경 도움이 점차 보편화되고 있다[9].

수술 중의 과도한 견인으로 인한 뇌표면의 미세순환장애, 뇌동맥류 주위의 관통동맥 폐색, 조기파열을 예방하거나 뇌동맥류를 박리하기 위해 일정시간 모동맥을 폐색하는 일시결찰 중의 뇌허혈, 모동맥 협착 및 폐색 등으로 인해 발생하는 뇌허혈 등은 모두 신경학적 결손을 야기할 수 있고, 이러한 결손이 영구적으로 발생하기 전에 미리 예측하고 피할 수 있도록 실시간 피드백(feedback)할 수 있는 감시 장치는 의사와 환자 모두에게 매우 중요하다. 유발전위(evoked potential)의 변화는 전술한 뇌허혈을 반영하는 전기생리학적 지표로서 뇌동맥류



Fig. 2. Three phases of indocyanine green videoangiography in aneurysm clipping. An early arterial phase showed rapid filling of fluorescent dye into large to medium parent arteries 20 to 30 seconds after injection (A). Intermediate phase revealed capillaries and fine perforators soon after couple of seconds (B). Late delayed phase showed full fluorescent emission in whole arteries, veins and target aneurysm (C).

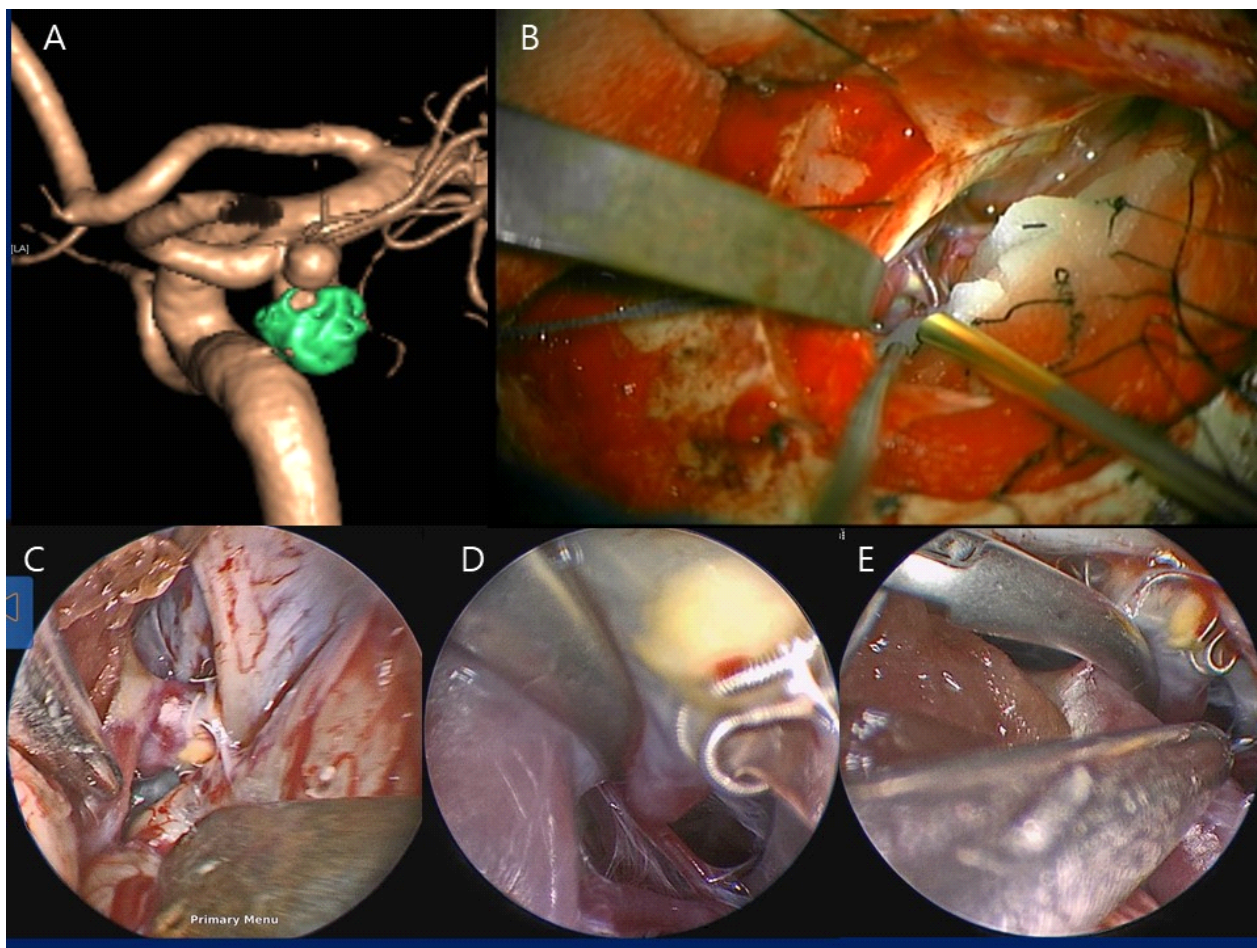


Fig. 3. A case example of endoscope assisted aneurysm clipping. A catheter 3-dimensional rotational angiography showed recurrent, previously coiled aneurysm at left posterior communicating artery origin (A). During microscopic surgery, an endoscope was introduced into surgical field (B) to inspect the hidden side of aneurysm (C). After clipping, endoscopic view revealed neck remnant proximal to the clip blades (D). A final complete clipping was confirmed by endoscopic inspection (E).

수술 중에는 주로 체성감각유발전위(somatosensory evoked potential)와 운동감각유발전위(motor evoked potential)를 이용하여 감시한다. 뇌동맥류가 주로 발생하는 중뇌동맥, 전뇌동맥, 내경동맥과 같은 전방순환계는 체성감각유발전위와 운동유발전위를 이용하여 감시할 수 있고, 후순환계는 뇌간청각유발전위(brainstem auditory evoked potential)를 통해 감시할 수 있다. 비정상적 기준은 전위의 진폭(amplitude), 잠복기(latency), 중심전도시간(central conduction time)의 변화를 감지하여 일정한 역치를 정하게 되고, 이 역치를 넘어 가면 수술자에게 경고하여 뇌허혈에 의한 뇌신경학적 장애 위험에 처해 있음을 알리게 된다. 수술실의 복잡한 전기환경과 주위 기구들로부터 전류의 간섭이 생겨 검사가 쉽지 않은 경우도 있고, 마취약제, 체온, 혈압 및 동맥내 가스분압 등에도 영향을 받을 수 있고, 장시간 지속되는 수술 도중 전극 부착부위가 결함이 생기면서 갑자기 파형 기록이 되지 않아 매우 당황스러

운 상황이 발생할 수 있기 때문에 검사의 질을 항상 최상으로 유지 관리할 수 있는 시스템과, 수술실 안 각 전문가들의 상호 협조와 의사소통이 무엇보다 중요한 감시 기법이라 하겠다.

요약 및 결론

성공적인 뇌동맥류 결찰 수술은 뇌동맥류가 뇌혈관순환계와 완전히 격리되면서 동시에 모동맥이나 분지, 천공동맥들이 온전히 보존되어 있는 것을 말한다. 수술자는 목표 병변의 해부학적 특성을 세밀하게 검토하고, 세부적인 수술계획을 치밀하게 준비해 놓아야 하며, 수술에 임해서는 차분하고 절제된 술기로 안전하게 진행해야 할 책임이 있다. 아울러 수술실 안에는 마취의, 간호사, 장비 전문기사와 보조 인력 등 많은 설비와 인력이 어우러져 있는 공간인 만큼 이 모두의 역할과 기능이 유기적으로 연결되어야만 성공적인 결과를 도출해 낼 수 있

다. 수술을 보조하는 여러 감시기법이나 장치들이 아무리 잘 갖추어져 있어도 그 운용의 질이 나쁘면 오히려 수술을 진행하는데 방해가 되거나 해악을 끼칠 수 있으므로, 뇌동맥류 수술을 구성하는 모든 과정 하나하나를 항상 변함없이 최상의 조건과 상태로 유지하려는 노력이야말로 성공적인 뇌동맥류 결찰술로 이끄는 핵심요소라 하겠다.

Ethical approval

This article does not require IRB/IACUC approval because there are no human and animal participants.

Conflicts of interest

No potential conflict of interest relevant to this article was reported.

ORCID

Yong Bae KIM, <https://orcid.org/0000-0003-2262-7157>

References

1. Lee KC, LEE JW. Complications of anterior circulation aneurysm surgery. *Korean J Cerebrovasc Dis*. 2001;3(1):25-9.
2. Lee KC, Lee KS, Shin YS, Lee JW, Chung SK. Surgery for posterior communicating artery aneurysms. *Surg Neurol*. 2003;59(2):107-13.
3. Rhoton AL. Aneurysms. *Neurosurgery*. 2002;51(4Suppl):S121-58.
4. Yasargil MG. *Microneurosurgery I*. Stuttgart: Georg Thieme Verlag; 1989. Aneurysm clipping, 3 general operative techniques; p. 245-64.
5. Yim MB, Lee CY. Surgical management of middle cerebral artery aneurysm. *J Korean Neurosurg Soc*. 1998;27(12):1778-88.
6. Bailes JE, Tantuwaya LS, Fukushima T, Schurman GW, Davis D. Intraoperative microvascular Doppler sonography in aneurysm surgery. *Neurosurgery*. 1997;40(5):965-70.
7. Stendel R, Pietilä T, Al Hassan AA, Schilling A, Brock M. Intraoperative microvascular Doppler ultrasonography in cerebral aneurysm surgery. *J Neurol Neurosurg Psychiatry*. 2000;68(1):29-35.
8. Hardesty DA, Thind H, Zabramski JM, Spetzler RF, Nakaji P. Safety, efficacy, and cost of intraoperative indocyanine green angiography compared to intraoperative catheter angiography in cerebral aneurysm surgery. *J Clin Neurosci*. 2014;21(8):1377-82.
9. Taniguchi M, Takimoto H, Yoshimine T, Shimada N, Miyao Y, Hirata M, et al. Application of a rigid endoscope to the microsurgical management of 54 cerebral aneurysms: results in 48 patients. *J Neurosurg*. 1999;91:231-7.